نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۶۷-۱۵۷

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 1, Spring. 2019, p. 157-167

تاثیر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر کارآیی مصرف آب در جو در شرایط قطع آبیاری

عباس ابهری[۱]، اسماعیل قلی نژاد[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۴

چکیده

به منظور بررسی تاثیر سالیسیلیک اسید بر کارآیی مصرف آب و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی جو در شرایط تنش خشکی، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۶ به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزارع کیذور واقع در شهرستان سبزوار انجام شد. تیمارها شامل آبیاری در دو سطح قطع آبیاری (قطع آبیاری از مرحله آبستنی (کد ۴۹ زادوکس) تا برداشت) و آبیاری کامل و تیمار محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در چهار سطح صفر (شاهد)، دو، چهار و شش میلی‌مولار در مرحله ساقه‌دهی (کد ۳۹ زادوکس) روی جو اجرا شد. نتایج نشان داد که در هر دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری بیشترین تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی در متر مربع به‌ترتیب در تیمار محلول‌پاشی دو تا شش میلی‌مولار سالسیلیک اسید و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد بود. کمترین کارایی مصرف آب (۰/۳۸) در شرایط قطع آبیاری و بدون مصرف سالیسیلیک اسید حاصل شد و با مصرف سالیسیلیک اسید تا شش میلی‌مولار کارایی مصرف آب افزایش یافت. همچنین با افزایش مصرف سالیسیلیک اسید در شرایط قطع آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، کارایی مصرف آب افزایش بیشتری یافت. کمبود آب از یک طرف با تأثیر بر ساختار غشای سلول سبب افزایش نفوذپذیری غشا نسبت به یون‌ها و ماکرو مولکول‌ها شد (نشت الکترولیت برگ در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری به‌ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۵۸ بود) و از طرف دیگر، با افت شاخص کلروفیل، فتوسنتز را کاهش داد که در نهایت کاهش عملکرد و اجزای آن را به همراه داشت. از طرفی، اسید سالیسیلیک موجب تعدیل تنش خشکی از طریق کاهش نشت یونی (عدم مصرف و مصرف سالسیلیک اسید شش میلی‌مولار در شرایط قطع آبیاری به‌ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۳۸ بود)، افزایش غلظت پرولین و شاخص کلروفیل در نتیجه بهبود عملکرد دانه گندم در شرایط قطع آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل گردید.

واژه‌های کلیدی: پرولین، شاخص کلروفیل، عملکرد دانه، قطع آبیاری، نشت الکترولیت

مقدمه

جو (*Hordeum vulgare* L.) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است و بیشترین سازگاری و تحمل به خشکی را نسبت به سایر غلات دارد همچنین مانند دیگر غلات تأمین‌کننده نیاز غذایی بشر و حیوانات است و استفاده از آن به‌عنوان یک منبع سرشار از نشاسته مورد نظر بوده است (Yousefirad *et al*., 2015). جو با دامنه وسیع اکولوژیکی و با سطح زیر کشت ۴۶/۹۲ میلیون هکتار و تولید ۱۴۱/۲۷میلیون تن با میانگین عملکرد دانه ۳۰۱۰ کیلوگرم در هکتار، چهارمین غله مهم بعد از گندم (*Triticum aestivum*)، ذرت (*Zea mays*) و برنج (*Oryza sativa*) در جهان است. میانگین سطح زیر کشت و میزان تولید سال‌های اخیر در ایران به‌ترتیب ۱/۶۱ میلیون هکتار و ۲/۹ میلیون تن با میانگین عملکرد دانه ۱۸۰۴ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (FAO, 2016).

تنش خشکی اثرات اسمزی و فیزیولوژیکی بر گیاهان دارد که نتیجه آن کاهش رشد، اختلالات متابولیکی و تنش‌های اکسیداتیو در گیاهان است. گیاهان مختلف راهکارهای متعددی برای مقابله با تنش خشکی به‌کار می‌برند. کاربرد خارجی ترکیبات متفاوت مانند محلول‌های آلی و مواد معدنی یک راهکار برای افزایش تحمل به خشکی در گیاهان است (Ashraf *et al*., 2011). سالیسیلیک اسید یک تنظیم‌کننده درونی رشد گیاه است که بر واکنش‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی گسترده‌ای در رشد و توسعه گیاه تاثیرگذار است (Hayat *et al*., 2010).

سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک شبه‌هورمون گیاهی شناخته شده و نقش آن در ارتباط با سازوکارهای دفاعی در برابر عوامل تنش‌زای زیستی و غیر زیستی به خوبی مشخص شده است (Hayat, 2005). همچنین بازدارنده فعالیت آنزیم کاتالاز که آنزیم پاکسازی‌کننده پراکسید هیدروژن است بوده و در نتیجه با کاهش فعالیت این آنزیم سبب افزایش پراکسید هیدروژن در گیاه می‌شود

۱- استادیار، گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲- دانشیار، گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: gholinezhad1358@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v17i1.73912

(Horvath *et al*., 2007). سالیسیلیک اسید یکی از مولکول‌های سیگنال‌دهنده مهم است که باعث عکس‌العمل گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود. این ماده همانند یک آنتی‌اکسیدانت غیر آنزیمی نقش مهمی را در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاه ایفا می‌کند (Arfan *et al*., 2007). ترکیب شبه‌هورمونی سالیسیلیک اسید یک ترکیب فنلی است که در گیاهان به‌وسیله سلول‌های ریشه تولید می‌شود. این ماده در گیاهان در مقادیر کم (میلی‌گرم بر گرم وزن تر یا کمتر) وجود دارد (Raskin, 1992). در تحقیقی پاک مهر و همکاران (Pak Mehr *et al*., 2015) بیان کردند که پرایمینگ با سالیسیلیک اسید، میزان کلروفیل را افزایش داد. ولی در بالاترین سطح غلظت به‌کار رفته و به‌خصوص در شرایط تنش میزان کلروفیل برگ در مقایسه با تیمار ۲۷۰۰ میکرو مولار کاهش یافت. نتایج این آزمایش نشان داد که گیاهان حاصل از بذرهای پرایم شده با سالیسیلیک اسید از طریق افزایش محتوای نسبی آب، شدت تعرق، هدایت روزنه‌ای و شاخص کلروفیل برگ گیاه، توانستند سرعت فتوسنتز را در شرایط عادی و تنش بهبود بخشند. زرگریان و همکاران (Zargerian *et al*., 2016) در نتایج خود عنوان کردند یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی پاسخ‌دهنده به کم‌آبی محتوای نسبی آب برگ است. مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق با افزایش شدت کم آبی در ریحان محتوای رطوبت نسبی برگ کاسته شد و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد. نتایج به‌دست آمده از تحقیق خیرخواه و همکاران (Kheirkhah *et al*., 2016) نشان داد تمام تیمارهای محلول‌پاشی مواد ضد تنش اعم از سالیسیلیک اسید، تیوفول و گلیسین در غلظت‌های مختلف باعث افزایش در میزان صفات کیفی چغندرقند (*Beta vulgaris*) اعم از عملکرد ریشه، عیار قند و عملکرد شکر سفید شد. رنجبر و همکاران (Ranjbar *et al*., 2010) نشان دادند که افزایش قندهای محلول و نامحلول و کاهش آنزیم‌های اکسیدازی توسط اسید سالیسیلیک در شرایط تنش نشان‌دهنده تاثیر این ترکیب در آسیب‌های اکسایی می‌باشد. تنش خشکی یکی از عوامل اصلی کاهش کمی و کیفی در گیاهان است. در تحقیقی مشاهده شده است که تیمار سالسیلیک اسید، آنزیم‌های هیدرولیزکننده پلی‌ساکارید را مهار کرده و تشکیل پلی ساکاریدها از قندهای محلول را سرعت می‌بخشند. با این فرض، سالسیلیک اسید میزان قندهای غیرمحلول را نسبت به قندهای محلول افزایش می‌دهد (Borsanio and Botella, 2001). با اعمال تیمار تنش رطوبتی، کارایی مصرف آب گندم بر حسب عملکرد دانه در هر دو سال آزمایش کاهش یافت (Ezzat Ahmadi *et al*., 2010). به طور نسبی، در شرایط زراعی، افزایش کمبود آب سبب افزایش راندمان مصرف آب می‌شود؛ به عبارت دیگر در شرایط نزدیک به تنش کمبود آب، گیاه در مقایسه با شرایط رطوبتی مطلوب، نسبت به میزان آب مصرف شده محصول بیشتری تولید می‌کند (Shabiri *et al*., 2006). مقایسه دو راهبرد کم آبیاری و آبیاری کامل روی ارقام سویا (*Glycine max*) نشان داده است که اگر تولیدکننده از روش کم آبیاری استفاده کند، در مصرف آب صرفه‌جویی شده و با افزایش سطح زیر کشت، تولید کل افزایش می‌یابد (Kiani, 2010). تنش خشکی بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه تاثیر گذاشته و از رشد و تقسیم سلولی ممانعت می‌کند و سبب کاهش عملکرد در گیاهان می‌شود. بنابراین استفاده از موادی مثل سالسیلیک اسید که بتواند اثرات تنش خشکی را کاهش دهد دارای اهمیت است. هدف از این آزمایش تاثیر سالسیلیک اسید در کاهش اثرات تنش خشکی بر عملکرد، کارآیی مصرف آب و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی جو می‌باشد. بنابراین در این مطالعه با مصرف سالسیلیک اسید و تاثیر برخی ویژگی‌ها و خصوصیات فیزیولوژیکی و بهبود این شاخص‌ها در شرایط قطع آبیاری و تاثیر آن بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی، شناخت بهترین تیمار موثر در زمینه کارآیی مصرف آب مورد نظر بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزارع کیذور واقع در شهرستان سبزوار انجام شد. ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۱۱۹۵ متر بوده و در ۳۶ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی واقع شده است. تیمارها شامل آبیاری در دو سطح قطع آبیاری (قطع آبیاری از مرحله آبستنی[1] (کد ۴۹ زادوکس) تا برداشت) و آبیاری کامل و تیمار محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در چهار سطح صفر، دو، چهار و شش میلی‌مولار در مرحله ساقه‌دهی (کد ۳۹ زادوکس) روی جو رقم ریحان اجرا شد. این رقم خاص مناطق معتدل و با عملکرد متوسط ۲ الی ۴ تن در هکتار می‌باشد. قبل از کاشت نمونه‌گیری از خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر انجام و کودپاشی بر اساس نتایج آزمون خاک (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۷۵ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 و ۷۰ کیلوگرم در هکتار پتاس) انجام گردید. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ آمده است. کاشت در ۲۷ آبان ماه سال ۱۳۹۶ صورت گرفت طول هر کرت سه متر و عرض هر کرت دو متر و دارای ۱۰ خط کاشت بود. کاشت در خطوطی با فاصله ۱۵ سانتی‌متر انجام شد. متوسط فاصله بذرها در هر خط کاشت دو تا سه سانتی‌متر و بین کرت‌های مختلف ۳۰ سانتی‌متر فاصله بود. در ۲۵ اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۷پس از حذف حاشیه از خطوط وسط هر کرت به مساحت یک متر مربع برای محاسبه عملکرد و اجزای عملکرد دانه برداشت گردید سپس نمونه‌ها در آون به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۵ درجه

1- Boot stage

سانتی‌گراد خشک شدند و عمکرد و اجزای عملکرد دانه تعیین شد. کارآیی مصرف آب با محاسبه نسبت عملکرد دانه بر میزان آب مصرفی در طول فصل رشد محاسبه شد. به این صورت که میزان آب مصرفی در هر مدار براساس مقدار دبی آب در زمان بر مساحت زمین محاسبه گردید. در مرحله گرده‌افشانی میزان کلروفیل برگ، اسید آمینه پرولین به روش بیتس (Bates, 1973)، محتوای نسبی آب برگ به روش اسمارت و بینگهام (Smart and Bingham, 1974) و نشت الکترولیت مواد از برگ‌ها به روش والنتوویک و همکاران (Valentovic *et al*. 2006) و در مرحله رسیدگی عملکرد و اجزای عملکرد در آزمایشگاه زیست‌شناسی دانشگاه پیام نور سبزوار اندازه‌گیری شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها تجزیه آماری با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Some physical and chemical properties of soil

بافت خاک Soil texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	N (%)	K mg kg^{-1}	P mg kg^{-1}	کربن آلی Organic Carbon (%)	EC dS m^{-1}	pH
Clay loam	27	45	28	1.07	190	9.58	0.97	0.624	7

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر ساده آبیاری، سالیسیلیک اسید و برهمکنش آبیاری و سالیسیلیک اسید بر کلیه صفات مورد مطالعه در این تحقیق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ($P< 0.01$، جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و سالیسیلیک اسید نشان داد در هر دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، بیشترین و کمترین وزن خشک ساقه به‌ترتیب از تیمار محلول‌پاشی شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید) به‌دست آمد (جدول ۳). دلیل بهبود رشد و افزایش ماده خشک در اثر مصرف سالیسیلیک اسید در انتقال مواد فتوسنتزی به سمت مخزن ارتباط داده شده است همچنین سالیسیلیک اسید باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های نیترات رداکتاز و کربنیک آنهیدراز، مانع اکسیداسیون اکسین شده و از این طریق بر رشد تاثیر مثبت می‌گذارد (Fariduddin *et al.*, 2003).

مقایسه میانگین نشان داد در شرایط آبیاری کامل، بیشترین و کمترین وزن خشک برگ به‌ترتیب از تیمار محلول‌پاشی شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید) به‌دست آمد (جدول ۳). در صورتی‌که با قطع آبیاری در مرحله آبستنی (کد ۴۹ زادوکس) وزن خشک برگ در تیمارهای مختلف سالیسیلیک اسید از روند خاصی پیروی نکرد و مصرف دو میلی‌مولار سالیسیلیک با ۱۴۵/۵۵ گرم بر مترمربع بیشترین وزن خشک برگ را تولید کرد (جدول ۳). سالیسیلیک اسید در دوره تنش خشکی از طریق تاثیر بر سیستم آنتی‌اکسیدان باعث تأخیر در لوله شدن بر گیاهان می‌شود (Kadioghlu *et al.*, 2011). در شرایط تنش خشکی، سالیسیلیک اسید از طریق تاثیر بر بیوسنتز اتیلن پیری برگ‌ها را به تأخیر انداخته و از این طریق مدت زمان حفظ سطح برگ افزایش و به دنبال آن فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به مخازن افزایش یافته است (Fahadi *et al.*, 2016). در گزارشی در مورد سورگوم (*Sorghum bicolor*) آمده است که در شرایط تنش خشکی، رشد بخش هوای، ریشه و ارتفاع گیاه تحت تاثیر اسید سالسیلیک، افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان داده است (Gill, 2003).

در شرایط آبیاری کامل، مصرف سالیسیلیک اسید توانست میزان نشت الکترولیت را کاهش دهد (جدول ۳). در شرایط قطع آبیاری، مصرف سالیسیلیک اسید توانسته است میزان نشت الکترولیت را کاهش دهد (جدول ۳) به طوری که محلول‌پاشی با غلظت شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در مقایسه با شاهد (بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید) میزان نشت الکترولیت را به میزان ۳۸ درصد کاهش داد (جدول ۳). کاهش خسارت غشاء در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید با تولید آنتی‌اکسیدان در ارتباط می‌باشد و از این روش سالیسیلیک اسید سبب افزایش پایداری غشا در برابر تنش‌های اکسایشی می‌گردد (Ghoulam *et al.*, 2001). قطع آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، میزان نشت الکترولیت برگ را به میزان ۲۳ درصد افزایش داد (جدول ۳). نقی زاده و غلامی توران پشتی (Naghizadeh and Gholami Toran Poshti, 2015) در نتایج خود بیان کردند تنش خشکی در دوره پرشدن دانه تأثیر منفی بارزی بر عملکرد و اجزای آن و همچنین محتوای نسبی آب برگ پرچم گذاشت و در مقابل، افزایش نشت یونی را به همراه داشت. افزایش در نشت الکترولیت در گیاهان تحت تنش خشکی در بسیاری از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (Borsani *et al.*, 2001; Ghoulam *et al.*, 2001).

در این مطالعه مشخص شد که قطع آبیاری نسبت به آبیاری کامل باعث افزایش مقدار اسید آمینه پرولین شد به طوری که اعمال تنش خشکی موجب ۱۱ درصد افزایش در غلظت پرولین برگ گندم در مقایسه با شاهد گردید (جدول ۳). سایر محققان نیز گزارش کردند

که تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار پرولین بـه میـزان ۶۰ درصـد گردیـد (Naghizadeh and Gholami Tooran Poshti, 2014; Pireivatlou *et al.*, 2010). در شـرایط آبیـاری کامـل، بیشـترین (۱۵۵/۸ میلی‌مولار بر کیلـوگرم) و کمتـرین (۱۰۶/۸ میلـی‌مـولار بـر کیلوگرم) مقدار اسید آمینه پرولین به‌ترتیب از تیمار چهار میلـی‌مـولار سالسیلیک اسید و تیمار شش میلی‌مولار سالسیلیک اسید به‌دست آمد (جدول ۳). در شرایط قطع آبیاری، بیشترین (۱۶۱/۹۳ میلی‌مـولار بـر کیلوگرم) و کمترین (۱۰۸/۷۷ میلی‌مولار بر کیلوگرم) مقدار اسید آمینه پرولین به‌ترتیب در تیمار دو میلی‌مولار سالسیلیک اسید و تیمار شـش میلی‌مولار سالسیلیک اسید مشاهده شد (جدول ۳). به نظـر مـی‌رسـد غلظت بالای محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (۶ میلی‌مولار) در شـرایط قطع آبیاری توانسته است وضعیت آبی گیاه را بهبود بخشـیده و گیـاه برای مقابله با کمبود آب، اسید آمینه پـرولین کمتـری را تولیـد کـرده است.

در شرایط آبیاری کامل، مصرف دو میلی‌مـولار سالسـیلیک اسـید توانست شاخص کلروفیل را افزایش دهد (جدول ۳). در شـرایط قطـع آبیاری، مصرف شش و چهار میلـی‌مـولار سالسـیلیک اسـید توانسـت شاخص کلروفیل را افزایش دهد اما با تیمار شاهد اختلاف معنـی‌داری نداشت (جدول ۳). این نتایج در خصوص تاثیر مثبت سالسیلیک اسـید بر افزایش شاخص کلروفیل بـا نتـایج پـاک مهـر و همکـاران (Pak mehr *et al*., 2015) مطابقت داشت. سایر پژوهش‌گران نیز گـزارش کردند که در تیمارهای تیمار شده با سالیسیلیک اسید، میزان کلروفیل و فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو افزایش یافت (Singh and Usha, 2003; Farajzadeh *et al*., 2016). مقایسه میانگین آبیاری کامل و قطع آبیاری نشان داد که شاخص کلروفیـل بـا قطـع آبیـاری کـاهش یافت (جدول ۳) به طوری که تیمار قطع آبیاری در مقایسه بـا آبیـاری کامل، شاخص کلروفیل را به میزان ۱۸ درصد کاهش داد (جـدول ۳). نتایج مطالعه کایـدنظامی و بلـوچی (Kaid Nezami and Balochi 2014) روی عدس (*Lens culinaris*) نشان داد که استفاده از اسـید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار در شوری‌های با غلظت بالا باعث افزایش مقدار کلروفیل و کارتنوئید شد. این نتایج نشان داد که محلـول‌پاشـی اسید سالیسیلیک سبب افزایش بردبـاری بـه تـنش شـوری و کـاهش اثرهای زیان‌بار کلرید سدیم در گیاه عدس شد.

در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، تیمار محلـول‌پاشـی شـش میلی‌مولار سالسیلیک اسید در مقایسه با شاهد (بـدون محلـول‌پاشـی سالیسیلیک اسید)، تعداد سنبله در متر مربع را به‌ترتیب به میزان ۲۴ و ۲۸ درصد افزایش داد (جدول ۳). به نظر می‌رسد تـاثیر محلـول‌پاشـی سالیسیلیک اسید در شرایط قطع آبیاری موثرتر از شرایط آبیاری کامل بوده است. قطع آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، تعداد سنبله در متـر مربع را به میزان ۱۵ درصد کـاهش داد (جـدول ۳). در همـین راسـتا، سایر محققان گزارش کردند که تنش خشکی باعث کـاهش معنـی‌دار تعداد سنبله در مترمربع به میزان ۱۰ درصد شد (Naghizadeh and Gholami Tooran Poshti, 2014).

در شرایط آبیاری کامل، بیشترین تعداد دانه در سنبله (۳۴ دانـه در سنبله) در تیمار شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید مشاهده شد (جدول ۳). با قطع آبیاری در مرحله آبستنی، در تیمارهای مختلف سالیسیلیک اسید تعداد دانه در سنبله از روند خاصی پیروی نکرد (جدول ۳). قطـع آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، تعداد دانه در سنبله را به میـزان ۱۸ درصد کاهش داد (جدول ۳). تاثیر تنش خشکی بر کاهش تعـداد دانـه در سنبله از طریق افزایش نسبت اندام‌های عقیم قبل از پر شدن دانـه دانست همچنین از دیگر دلایل آن می‌توان به مرگ و میر گلچه‌هـا و اختلال در گرده‌افشانی و پر شدن دانه در اثر تنش خشکی اشاره کـرد (Flower and Ludlow, 1986). گزارش شـده اسـت اعمـال تـنش رطوبتی و افزایش شـدت آن، تعـداد دانـه در سـنبله، عملکـرد دانـه و بیولوژیک را در گندم کاهش داد در حالی که کاربرد تنظیم‌کننده‌هـای رشد مانند سالیسیلیک اسید و جاسـمونیک اسـید سـبب بهبـود همـه اجزای عملکرد دانه و در نهایت افزایش عملکرد دانه گردید (Vahabi *et al*., 2017). افزایش تعـداد دانـه در سـنبله در اثـر محلـول‌پاشـی سالیسیلیک اسید در گندم توسط سایر محققان نیز گزارش شده اسـت (Pirasteh-Anosheh *et al*., 2012; Amin *et al*., 2008).

مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و سالیسیلیک اسـید نشـان داد در هر دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، بیشترین و کمترین تعداد دانه در متر مربع به‌ترتیب از تیمـار محلـول‌پاشـی شـش میلـی‌مـولار سالیسیلیک اسید و تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسـید) به‌دست آمد (جدول ۳).

در شرایط آبیاری کامل، بیشـترین وزن هـزار دانـه در تیمـار دو و چهار میلی‌مولار (بدون اخـتلاف معنـی‌دار بـا یکـدیگر) مشـاهده شـد (جدول ۳). در تیمار قطع آبیاری، بیشـترین (۳۷/۶۰ گـرم) و کمتـرین (۲۱/۱۴ گرم) وزن هزار دانـه بـه‌ترتیـب از تیمـار شـش میلـی‌مـولار سالیسیلیک اسید و تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسـید) به‌دست آمد در شرایط قطع آبیاری، محلول‌پاشی با سالیسـیلیک اسـید مقـدار وزن ۱۰۰۰ دانـه را حـدود ۴۴ درصـد افـزایش داد (جـدول ۳). مقایسه میانگین شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری نشان داد که تیمار قطع آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، وزن ۱۰۰۰ دانه را به میزان ۹ درصد کاهش داد (جدول ۳). قطع آبیاری به دلیـل اخـتلال در انتقـال مواد فتوسنتزی به دانه، سبب کوچک و ضعیف شدن دانه‌ها مـی‌شـود (Dalvandi *et al*., 2013).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه

Table 2- Analysis of variance analysis of studied traits

منابع تغییر Source of variation	d.f	وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	پرولین Proline	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	تعداد سنبله در مترمربع Spike number per square meter	تعداد دانه در سنبله seed number per spike	تعداد دانه در متر مربع Seeds per square meter	وزن هزار دانه-1000 seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه seed yield	شاخص برداشت Harvest index	کارایی مصرف آب Water use efficiency
تکرار Replication	2	0.36 ns	0.38 ns	0.0014 *	25.23 ns	0.88 ns	1.98 ns	0.59 **	1.85 ns	0.60 **	260.70 ns	52.43 ns	0.22ns	0.000054 ns
آبیاری Irrigation	1	6232.95 **	18393.91 **	0.109 **	111.84 ns	610.04 **	17115.76 **	165.21 **	20205845.68 **	56.15 **	1041891.68 **	1177361.10 **	84.11**	0.011 **
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	3	187.05 **	692.70 **	0.011 **	1582.51 **	51.30 **	13006.12 **	30.22 **	13444296.59 **	163.62 **	3535011.64 **	3323238.23 **	161.71**	0.116 **
آبیاری × سالیسیلیک اسید Irrigation × Salicylic acid	3	31.08 **	845.67 **	0.104 **	1995.00 **	73.68 **	114.76 **	19.23 **	6686965.28 **	72.07 **	48542.83 **	159814.32 **	151.71**	0.0062 **
خطا Error	14	0.14	1.12	0.00031	31.83	2.10	1.78	0.087	2.27	0.107	415.29	531.05	0.49	0.000020
ضریب تغییرات (٪) CV %	-	5.02	7.98	3.39	4.30	2.75	6.39	5.05	8.51	4.99	10.48	7.74	5.01	6.78

**، * و ns به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار

**,* and ns significant at 1%, 5% and non-significant probability levels, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین سطوح سالیسیلیک اسید در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری برای صفات مختلف

Table 3- Comparison of salicylic acid levels increase full and cut-off irrigation conditions for different traits

آبیاری Irrigation	سالیسیلیک اسید (میلی مولار) Salicylic acid (mM)	وزن خشک ساقه (گرم بر مترمربع) Stem dry weight ($g\ m^{-2}$)	وزن خشک برگ (گرم بر مترمربع) Leaf dry weight (g)	نشت الکترولیت (درصد) Electrolyte leakage (٪)	پرولین (میلی مولار بر کیلوگرم) Proline ($mM\ Kg^{-1}$)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	تعداد سنبله در مترمربع Spike number per square meter	تعداد دانه در سنبله seed number per spike	تعداد دانه در متر مربع Seeds per square meter	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield ($kg\ ha^{-1}$)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) seed yield ($kg\ ha^{-1}$)	شاخص برداشت (٪) Harvest index (%)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) Water use efficiency ($kg\ m^{-3}$)
آبیاری کامل Full irrigation	0	48.98	57.70	0.48	126.3	57.23	319.41	33.17	8754.22	29.47	3511.10	2427.5	69.14	0.40
	2	51.13	73.14	0.53	126.8	61.7	333.18	29.95	8771.33	38.45	4709.10	3116.9	66.19	0.52
	4	57.4	81.53	0.80	155.8	52.56	399.94	25.11	10128.0	39.00	4943.00	3453.2	69.90	0.58
	6	58.19	105.36	0.53	106.8	58.83	415.38	34.00	14148.1	30.96	5445.70	4324.9	79.42	0.72
قطع آبیاری Cut-off irrigation	0	16.10	125.22	0.61	152.72	52.33	259.70	25.55	8169.72	21.14	3327.0	1829.2	54.98	0.38
	2	17.98	145.55	0.50	161.93	41.26	292.66	25.50	8531.09	35.67	4095.4	3005.3	73.38	0.63
	4	20.13	142.65	0.31	109.70	45.20	342.24	24.58	8485.46	31.23	4463.9	3214.0	72.00	0.67
	6	32.21	125.79	0.38	108.77	54.20	359.68	25.61	9275.06	37.60	5053.0	3502.2	69.30	0.73
	LSD	0.67	1.85	0.03	9.81	2.53	2.63	2.33	0.51	0.57	41.71	47.81	1.23	0.008

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

Mean in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.

در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، تیمار محلول‌پاشی شش میلی‌مولار سالسیلیک اسید در مقایسه با شاهد (بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید)، عملکرد بیولوژیک را به‌ترتیب به میزان ۳۶ و ۳۵ درصد افزایش داد (جدول ۳). افزایش عملکرد بیولوژیک با مصرف سالیسیلیک اسید توسط سایر پژوهش‌گران نیز گزارش شده است (Vahabi *et al*., 2017; Anjum *et al*., 2011; Yun-Xia *et al*., 2010). ساجدی و قلی‌نژاد (Sajedi and Gholinezhad, 2012) گزارش کردند که با مصرف سالیسیلیک اسید در شرایط دیم، عملکرد بیولوژیک ارقام گندم نسبت به شاهد ۱۰ درصد افزایش یافت. قطع آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، عملکرد بیولوژیک را به میزان ۹ درصد کاهش داد (جدول ۳). تنش خشکی از طریق تاثیر بر بسته شدن روزنه‌ها، کاهش تورژسانس، کاهش سطح فتوسنتزکننده و کاهش میزان فتوسنتز باعث کاهش عملکرد بیولوژیک در گیاه می‌شود (Simanne *et al*., 1993).

در هر دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب از تیمار محلول‌پاشی شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید) به‌دست آمد (جدول ۳). در شرایط آبیاری کامل و عدم قطع آبیاری، تیمار محلول‌پاشی شش میلی‌مولار سالسیلیک اسید در مقایسه با شاهد (بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید)، عملکرد دانه را به‌ترتیب به میزان ۴۴ و ۴۸ درصد افزایش داد (جدول ۳). به نظر می‌رسد تاثیر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در شرایط قطع آبیاری در بهبود عملکرد دانه موثرتر از شرایط آبیاری کامل بوده است. حیدری و همکاران (Heidari *et al*., 2016) بیان کردند که دمای نهایی سایه‌انداز گیاه نیز تحت اثر سالیسیلیک اسید کاهش یافت که نشان‌دهنده این است که استفاده از سالیسیلیک اسید در شرایط تنش، می‌تواند از طریق خنک‌تر نگه داشتن سایه‌انداز گیاه رهیافتی برای حفظ و پایداری فتوسنتز و عملکرد در شرایط تنش خشکی باشد. سایر پژوهش‌گران نیز گزارش کردند که سالیسیلیک اسید باعث افزایش عملکرد دانه شده است (Anjum *et al*., 2011; Yun-Xia *et al*., 2010). قطع آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، عملکرد دانه را به میزان ۱۴ درصد کاهش داد (جدول ۳). به نظر می‌رسد قطع آبیاری از طریق کاهش اجزای عملکرد دانه مانند تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه باعث کاهش عملکرد دانه گندم شده است پژوهش‌گران دیگر نیز معتقدند که تنش خشکی از تاثیرات منفی بر اجزای عملکرد دانه گندم داشته و عملکرد دانه را کاهش داده است (Gooding *et al*., 2003; Ozturk and Aydin, 2004).

در شرایط آبیاری کامل بیشترین شاخص برداشت از تیمار محلول‌پاشی شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌دست آمد. با قطع آبیاری بیشترین شاخص برداشت از تیمارهای محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و کمترین درصد شاخص برداشت از تیمار شاهد به‌دست آمد مقایسه تیمارهای آبیاری کامل و قطع آبیاری نشان داد که آبیاری کامل باعث افزایش شاخص برداشت شد (جدول ۳).

در هر دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، بیشترین و کمترین کارآیی مصرف آب به‌ترتیب از تیمار محلول‌پاشی شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید) به‌دست آمد (جدول ۳). در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، تیمار محلول‌پاشی شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در مقایسه با شاهد (بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید)، کارآیی مصرف آب را به‌ترتیب به میزان ۴۳ و ۴۸ درصد افزایش داد (جداول ۳). به نظر می‌رسد تاثیر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در شرایط قطع آبیاری در مقایسه با تیمار آبیاری کامل، در بهبود کارآیی مصرف آب موثرتر بوده است. بیشترین (۰/۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب) و کمترین (۰/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب) کارآیی مصرف آب به‌ترتیب از تیمار قطع آبیاری و آبیاری کامل حاصل شد (جدول ۳). سایر پژوهش‌گران نیز گزارش کردند تنش خشکی و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید باعث افزایش کارآیی مصرف آب در گیاه ذرت گردید (Bayat and Sepehri, 2014). علت بیشتر بودن کارآیی مصرف آب در شرایط تنش خشکی در مقایسه با آبیاری کامل، هدر رفت زیاد آب از طریق تبخیر و تعرق و نفوذ عمقی بیشتر در تیمار آبیاری کامل گزارش شده است (Allen and Musik, 1993). محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید با تحریک رشد ریشه‌های نابه‌جا نقش موثری در افزایش کارآیی مصرف آب ایفا می‌کند (Fletcher and Hofstra, 1988). کیانی (Kiani, 2010) در آزمایشی روی سویا نشان داد که در شرایط خشکی کارایی مصرف آب افزایش یافت. به طور نسبی، در شرایط زراعی، افزایش کمبود آب سبب افزایش راندمان مصرف آب می‌شود؛ به عبارت دیگر در شرایط نزدیک به تنش کمبود آب، گیاه در مقایسه با شرایط رطوبتی مطلوب، نسبت به میزان آب مصرف شده محصول بیشتری تولید می‌کند (Shabiri *et al*., 2006).

نتیجه‌گیری

کمترین وزن خشک ساقه از تیمار شاهد (بدون مصرف سالیسیلیک اسید) و بیشترین آن از محلول‌پاشی شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط قطع آبیاری به وجود آمد. در صورتی که در شرایط تنش مصرف دو میلی‌مولار سالیسیلیک با ۱۴۵/۵۵ گرم در مترمربع بیشترین وزن خشک برگ را تولید کرد. در هر دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، بیشترین تعداد سنبله، تعداد دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب از تیمار محلول‌پاشی دو تا شش میلی‌مولار سالسیلیک اسید و کمترین آن از تیمار شاهد حاصل شد.

قطع آبیاری باعث شد که وزن هزار دانه در تیمار شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بیشترین مقدار را داشته باشد. در شرایط آبیاری کامل، مقایسه میانگین تیمارهای سالیسیلیک اسید نشان داد که کمترین کارایی مصرف آب در تیمار شاهد و بیشترین آن به محلول‌پاشی شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید مربوط بود. همچنین در شرایط قطع آبیاری، تیمارهای مختلف سالیسیلیک اسید، کارایی مصرف آب را افزایش داد. در شرایط آبیاری کامل مصرف چهار میلی‌مولار سالیسیلیک اسید توانست بیشترین میزان اسید آمینه پرولین را تولید کند. در شرایط قطع آبیاری مصرف دو میلی‌مولار سالیسیلیک اسید توانست میزان ۱۶۱/۹۳ میلی‌مولار بر کیلوگرم اسید آمینه پرولین تولید کند که با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشت. در شرایط آبیاری کامل مصرف سالیسیلیک اسید نتوانست میزان نشت الکترولیت را کاهش دهد اما در شرایط قطع آبیاری مصرف سالیسیلیک اسید توانست میزان نشت الکترولیت را کاهش دهد. تنش خشکی ایجاد شده در دوره گرده‌افشانی تا آخر فصل رشد تأثیر منفی بارزی بر عملکرد و اجزای آن و همچنین نشت الکترولیت برگ گذاشت و در مقابل سالیسیلیک اسید باعث افزایش غلظت پرولین و نشت یونی شد. کمبود آب از یک طرف با تأثیر بر ساختار غشای سلول سبب افزایش نفوذپذیری غشا نسبت به یون‌ها و ماکرو مولکول‌ها می‌گردد (نشت الکترولیت برگ در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری به‌ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۵۸ بود) و از طرف دیگر، با افت محتوی رطوبت نسبی و پتانسیل آب برگ زمینه کاهش شاخص کلروفیل و فتوسنتز را فراهم آورد (شاخص کلروفیل برگ در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری به‌ترتیب ۵۷/۵ و ۴۷/۵ بود) و در نهایت باعث کاهش عملکرد و اجزای آن شد (عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری به‌ترتیب ۳۳۳ و ۲۸۸/۲ گرم در متر مربع بود). از طرفی، اسید سالیسیلیک موجب تعدیل تنش خشکی از طریق کاهش نشت یونی (عدم مصرف و مصرف سالیسیلیک اسید شش میلی‌مولار در شرایط قطع آبیاری به‌ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۳۸)، کاهش غلظت پرولین (عدم مصرف و مصرف سالسیلیک اسید شش میلی‌مولار در شرایط قطع آبیاری به‌ترتیب ۱۵۲/۷ و ۱۰۸/۷۷) و شاخص کلروفیل (عدم مصرف و مصرف سالسیلیک اسید شش میلی‌مولار در شرایط قطع آبیاری به‌ترتیب ۵۲/۳۳ و ۵۴/۲۰) شد و در نتیجه باعث بهبود عملکرد دانه گندم در شرایط تنش گردید. در نهایت مشخص شد که مصرف شش میلی‌مولار نسبت به سایر تیمارها در هر دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری باعث افزایش عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب شد.

References

1. Allen, R. R., and Musik, J. T. 1993. Planting date, water management, and maturity length relations for irrigated grain sorghum. Trans. ASAE 36 (4): 1123-1129.
2. Amin, A. A., Li, S., Rashad, M., Fatma, A., and Gharib, E. 2008. Changes in morphological, physiological and reproductive characters of wheat plants as affected by foliar application with salicylic acid and ascorbic acid. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 2: 252-261.
3. Anjum, S. A., Wang, L., Farooq, M., Khan, I., and Xue, L. 2011. Methyl jasmonate-induced alteration in lipid peroxidation, ant oxidative defense system and yield in soybean under drought. Journal of Agronomy and Crop Science 197: 296-301.
4. Arfan, M., Athar, H. R., and Ashraf, M. 2007. Does exogenous application of Salicylic Acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? Journal of Plant Physiology 164: 685-694.
5. Ashraf, M., Akram, N. A., Al-Qurainy, F., and Flooda, M. R. 2011. Drought tolerance: roles of organic osmolyts, growth, regulators, and mineral nutrients. Advance in Agronomy 111: 249-296.
6. Bates, L. S. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and soil 39: 205-207.
7. Bayat, S., and Sepehri, A. 2014. Effect of salicylic acid and paclobutrazol on yield and water use efficiency of corn (*Zea mays* L.) under moisture stress. 1th international and 13th Iranian crop science congress. Tehran, Iran.
8. Borsani, O., Valpuesta, V., and Botella, M. N. 2001. Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in Arabidopsis seedling. Plant Physiology 126: 1024-1030.
9. Borsanio, V., and Botella, M. A. 2001. Evidence for a role of Salicylic Acid in the oxidative damage generated by Nacl and osmotic stress in Arabidodsis stress in (Arabidopsis) seedlings. Plant physiology 126: 1024-1030.
10. Dalvandi, G., Ghanbari-Odivi, A., Farnia, A., Khalil-Tahmasebi, B., and Nabati, E. 2013. Effects of drought stress on the growth, yield and yield components of four wheat populations in different growth stages. Advances in Environmental Biology 7 (4): 619-624.
11. Ezzat Ahmadi, M., Noormohammadi, Gh., Ghodsi, M., and Kafi, M. 2010. Effect of water stress and spraying of potassium iodide on agronomic traits and grain yield of bread wheat (*Tiriticum aistivum* L.) genotypes. Iranian Journal of Field Crops Research 8 (2): 177-182. (in Persian with English abstract).
12. FAOSTAT. 2012. FAO Statistical Data. [www.faostat.org.]

13. Farajzadeh, R., Sajedi, N. A., and Babaei, T. 2016. Effect of salicylic acid and post anthesis water deficit stress on some agronomic and physiological traits of different wheat genotypes. Cereal Research 6 (2): 173-184. (in Persian with English abstract).
14. Farhadi, N., Sayyahfar, M., and Shakarami, Gh. 2016. Effect of foliar applications of various levels of salicylic acid on yield and yield components of two barley cultivars under dry land farming conditions. Agricultural Research Journal 8 (5): 25-40. (in Persian with English abstract).
15. Fariduddin, Q., Hayat, S., and Ahmad, A. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in *Brassica juncea*. Photosynthetica 41 (2): 281-284.
16. Fletcher, R., and Hofstra, G. 1988. Triazoles as potential plant protectants. In: Sterol Synthesis Inhibitors in Plant Protection. Eds D. Berg, M. Plempel, Cambridge, Ellis Horwood Ltd, 321-331.
17. Flower, D., and Ludlow, M. M. 1986. Contribution of osmotic adjustment to the dehydration tolerance of water- stressed pigeon pea (*Cajanus cajan* L. mill sp.) leaves. Plant, Cell and Environment 9: 3-44.
18. Ghoulam, C. F., Ahmed, F., and Khalid, F. 2001. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. Environmental and Experiment Botany 47: 139-150.
19. Gill, P. K., Sharma, A. D., Singh, P., and Bnullar, S. S. 2003. Changes in germination, growth and soluble sugar contents of *Sorghum bicolor* L. Moench seeds under various a biotic stresses. Plant Growth Regulation 40: 154-162.
20. Gooding, M., Ellis, R., Shewry, P., and Schofield, J. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. Journal of Cereal Sciences 37: 295-309.
21. Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., and Ahmad, A. 2010. Effect of exogenous Salicylic Acid under changing environment: A review. Environmental and Experimental Botany 68: 14-25.
22. Hayat, S., and Ahmad, A. 2005. Salicylic acid: A plant hormone. Springer. 97-99.
23. Heidari, A., Bijan Zadeh, A., Naderi, R., and Imam, Y. 2016. Effect of seasonal drought stress and Salicylic Acid on grain yield and plant shadow temperature in two canola cultivars. Journal of Plant Physiology 27: 37-53. (in Persian with English abstract).
24. Horvath, E., Szalai, G., and Janda, T. 2007. Induction of A biotic stress tolerance by salicylic acid signaling. Plant Growth Regulation 26: 290-300.
25. Kadioglu, A., Saruhan, N., Saglam, A., Terzi, R., and Acet, T. E. 2011. Exogenous salicylic acid alleviates effects of long term drought stress and delays leaf rolling by inducing antioxidant system. Plant Growth Regul 64: 27-37.
26. Kaid Nezami, R., and Balochi, H. 2014. Physiological reactions of lentil plant (*Lens culinaris Medik*) to salinity stress and Salicylic Acid solution. Journal of Iranian Bean Studies 5 (2): 98-83. (in Persian with English abstract).
27. Kheirkhah, M., Farazi, M., Dadkhah, A., and Khoshnood Yazdi, A. 2016. Use of glycine, thiophile and salicylic acid in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under irrigated conditions. Eco-physiology of Crop Plants 10 (37): 182-167. (in Persian with English abstract).
28. Kiani, A. R. 2010. Optimal irrigation scheduling based on water-yield relations in some soybean cultivars. Journal of Agriculture Engineering Research 11 (1): 85-102.
29. Naghizadeh, M., and Gholami Tooran Poshti, M. 2014. Evaluation the effect of seed priming by salicylic acid on yield and yield components of wheat under drought stress conditions. Journal of Agroecology 6 (1): 162-170. (in Persian with English abstract).
30. Naghizadeh, M., and Gholami Toran Poshti, M. 2014. Effect of seed pre-treatment with Salicylic Acid on wheat yield and yield components under drought stress. Journal of Agricultural Ecology 6 (1): 170-162. (in Persian with English abstract).
31. Ozturk, A., and Aydin, F. 2004. Effect of water stress at various stages on some quality characteristics of winter wheat. Journal of Agronomy and Crop Science 190: 93-99.
32. Pak Mehr, A., Shakeri, F., and Rastgo, M. 2015. The effect of seed priming with Salicylic Acid on some photosynthetic traits of blubber beans under stress at flowering stage. Journal of Iranian Pulses Research 5 (2): 19-30. (in Persian with English abstract).
33. Pirasteh-Anosheh, H., and Emam, Y. 2012. Yield and yield component responses of bread and durum wheat to PGRs under drought stress conditions in field and greenhouse. Environmental Stress in Crop Sciences 5: 1-17. (in Persian with English abstract).
34. Pireivatlou, A. S., Dehdar Masjedlou, B., and Ramiz, T. A. 2010. Evaluation of yield potential and stress adaptive trait in wheat genotypes under post anthesis drought stress conditions. African Journal Agricultural Research 5: 2829-2836.

35. Ranjbar, M., Larry Yazdi, H., and Bromandjazi, Sh. 2010. The effect of Salicylic Acid on antioxidant enzymes, photosynthetic pigments of sugar content in rape (*Brasica napus*) under Pb stress. Journal of Plant Biology 3 (9): 39-52. (in Persian with English abstract).
36. Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 43: 463-439.
37. Sajedi, N. A., and Gholinezhad, A. 2012. Response of yield and yield component of dry land wheat cultivars to salicylic acid and selenium. Iranian Journal of Field Crops Research 10 (3): 614-621. (in Persian with English abstract).
38. Shabiri, S., Ghasemi Golazani, K., Golchin, A., and Saba, J. 2006. Effect of irrigation water on phenology and yield of three chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). Journal of Agricultural Knowledge 16 (2): 137-147. (in Persian with English abstract).
39. Simanne, B. P. C., Peacock, J. M., and Struk, P. C. 1993. Differences in development plasticity and growth rate among drought resistance and susceptible cultivar of durum wheat (*Triticum Turgidum* L. var. durum). Plant and Soil 157: 155-166.
40. Singh, B., and Usha, K. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regulation 39: 137-141.
41. Smart, R. E., and Bingham, G. E. 1974. Rapid estimates of relative water content. Plant Physiology 53: 258-260.
42. Vahabi, N., Emam, Y., and Pirasteh-Anosheh, H. 2017. Improving wheat growth and yield using chlormequat chloride, salicylic acid and jasmonic acid under water stress. Iranian Journal of Field Crops Research 15 (1): 124-135. (in Persian with English abstract).
43. Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L., and Gasparikova, O. 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. Plant Soil Environment 52 (4): 186-191.
44. Yun-Xia, G., Li-Jun, Z., Feng-Hai, L., Zhi-Bin, C., Che, W., Yun-Cong, Y., Zhen-Hai, H., Jie, Z., and Zhen-Sheng, S. 2010. Relationship between jasmonic acid accumulation and senescence in drought-stress. African Journal of Agriculture Research 5: 1978-1983.
45. Yousefirad, M., Asghari, M., Mohammadi, M., Masoumi Zavarian, A. 2015. Effect of drought stress on yield, yield components and some physiological characteristics of seven barley cultivars. Journal of Agricultural Research 7 (4): 297-309.
46. Zargerian, M., Tehranifar, A., Nemati, H., and Siavashpour, B. 2016. The effect of Salicylic Acid on some morphophysiologic characteristics of sunflower seedlings in drought stress conditions. Journal of Horticulture 30 (1): 162-151. (in Persian with English abstract).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 1, Spring. 2019, p. 157-167

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۶۷-۱۵۷

Effect of Salicylic Acid Foliar Application on Barley Water use Efficiency in Cut-Off Condition

A. Abhari[1], E. Gholinezhad[2*]

Received: 04-07-2018
Accepted: 06-10-2018

Introduction: Drought stress has osmotic and physiological effects on plants, resulting in reduced growth, metabolic disorders and oxidative stress in plants. Different plants use several strategies to cope with drought stress. External application of different compounds such as organic solvents and minerals is a solution to increase drought tolerance in plants. Salicylic acid is recognized as a plant hormone and its role in defense mechanisms against biological and non-biological stressors is well defined. The purpose of this experiment was to evaluate the effect of salicylic acid on reducing the effects of drought stress on yield, water use efficiency and some physiological characteristics of the barely.

Materials and Methods: This experiment was carried out as factorial experiment based on randomized complete block design with three replications in the Kizor fields located in the city of Sabzevar in 2017. The altitude of this area is 1195 m above sea level and is 36° 5 N latitude and 44° 3' E longitude. The treatments included irrigation at two levels of cut-off irrigation (irrigation cut from booting to harvesting stage) (Z39) and non-cut-off irrigation and salicylic acid spraying treatment at four levels of zero (control), two, four and six mM at stage of shoots on barley. Data were analyzed with the SAS software ver 9.1 and the means were compared with LSD test.

Results and Discussion: The results showed that in both conditions of non-cut-off irrigation and cut-off irrigation, the highest number of spikes, number of seeds, seed yield and biological yield per m^2 were obtained in two to six mM of salicylic acid, respectively, and the lowest was related to control treatment. The lowest water use efficiency (0.38) was obtained under non-cut-off irrigation conditions without salicylic acid and with the consumption of salicylic acid up to six mM, water use efficiency increased. Also, salicylic acid spraying in cut-off irrigation conditions compared to non-cut-off irrigation led to increase water use efficiency. In both conditions, non-cut-off irrigation and cut-off irrigation, the highest and lowest grain yields were obtained from 6 mM salicylic acid and control treatments (without salicylic acid spraying), respectively. Under non-cut-off irrigation and cut-off irrigation, spraying with 6 mM of salicylic acid increased the grain yield by 44% and 48% compared to control (without salicylic acid spraying). It seems that the effect of salicylic acid spraying in cut-off irrigation conditions was more effective than non-cut-off irrigation conditions. The cause of higher water use efficiency in cut-off irrigation conditions in comparison with non-cut-off irrigation was high waste of water due to evapotranspiration and deep penetration in non-cut-off irrigation treatments. Spraying with salicylic acid by stimulating the growth of hair and sub-roots plays an effective role in increasing water use efficiency. In cut-off irrigation conditions, salicylic acid consumption has reduced the amount of electrolyte leakage so that the spray at a concentration of 6 mM of salicylic acid compared to the control (without salicylic acid spraying) decreased electrolyte leakage about 38 %. The reduction of membrane damage due to the use of salicylic acid is related to the production of antioxidants. Spraying with salicylic acid increases the stability of the membrane against oxidative stresses.

Conclusions: Water deficit at first affecting the structure of the cell membrane, increased the permeability of the membrane relative to the ions and macromolecules and at second stage decreased the photosynthesis by decreasing the chlorophyll index, which finally reduced the yield and its components. Also, salicylic acid alleviate drought stress by reducing ion leakage, increasing proline concentration and chlorophyll index resulting to improved wheat grain yield under cut-off irrigation conditions compared to non-cut-off irrigation.

Keywords: Chlorophyll index, Cut-off irrigation, Grain Yield, Ion leakage, Porolin

1- Assistant Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: gholinezhad1358@yahoo.com)